

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-43434

(43) 公開日 平成9年(1997)2月14日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

G 0 2 B 6/00

21/32

識別記号

3 3 1

庁内整理番号

F I

G 0 2 B 6/00

21/32

技術表示箇所

3 3 1

審査請求 未請求 請求項の数5 O L (全 5 頁)

(21) 出願番号 特願平7-198371

(22) 出願日 平成7年(1995)8月3日

特許法第30条第1項適用申請有り 1995年3月28日、  
(社)応用物理学会発行の「1995年(平成7年)春季第  
42回応用物理学関係連合講演会講演予稿集No. 3」に  
発表

(71) 出願人 595111907

池田 正宏

広島県福山市手城町三丁目9番2号

(71) 出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号

(72) 発明者 池田 正宏

広島県福山市手城町三丁目9番2号

(72) 発明者 奥 哲

東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日

本電信電話株式会社内

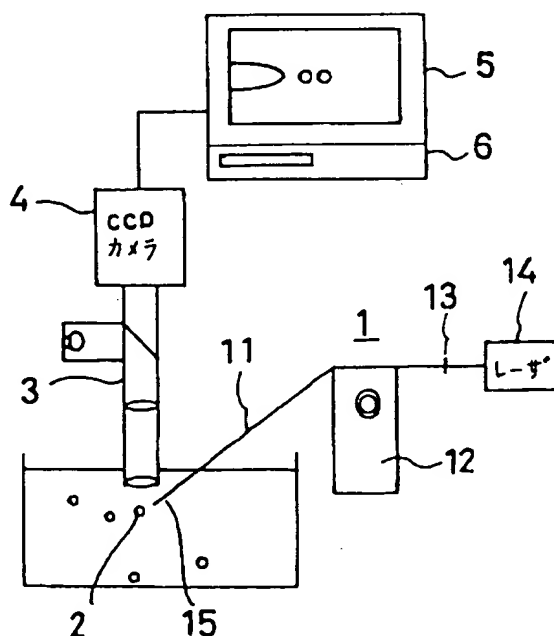
(74) 代理人 弁理士 山川 政樹

(54) 【発明の名称】 光ピンセット

(57) 【要約】

【課題】 光学系が比較的簡単で、観察対象物を3次元的に任意な位置に非接触で移動操作することができる光ピンセットを提供する。

【解決手段】 レーザ光源14から出力された光は、光コネクタ13を介して光ファイバ11に導かれ、その先端部分15から観察対象物2に対して出射される。先端部分15の集束出射端部21を介して出射されたレーザ光は、ビームウエスト位置 $z_f$ で出射時のビームスポットサイズより絞られるため、観察対象物2に対してビームウエスト位置 $z_f$ 方向の力Fが働いて観察対象物2が捕捉され、微動装置12を制御して光ファイバ11を3次元的に移動させることにより、観察対象物2を移動操作する。



1

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 微粒子や細胞などの微小な観察対象物を非接触で操作するマニピュレータにおいて、先端部分に出射光を集束させるための集束出射端部を有する光ファイバと、

この光ファイバを支持して前記先端部分を微動移動させる微動装置と、

前記光ファイバに対して光を供給する光源とを備え、前記光ファイバの集束出射端部から出射された光を観察対象物に照射することにより前記観察対象物を捕捉し、前記微動装置によって前記光ファイバを微動させることにより前記観察対象物を移動操作するようにしたことを特徴とする光ピンセット。

【請求項2】 請求項1記載の光ピンセットにおいて、前記光ファイバは、前記集束出射端部として先球テーパー構造を有することを特徴とする光ピンセット。

【請求項3】 請求項1記載の光ピンセットにおいて、前記光ファイバは、前記集束出射端部として分布型屈折率構造を有することを特徴とする光ピンセット。

【請求項4】 請求項1記載の光ピンセットにおいて、前記光ファイバは、前記集束出射端部として先球テーパー構造を有し、前記光源は、YAGレーザからなることを特徴とする光ピンセット。

【請求項5】 請求項1記載の光ピンセットにおいて、前記光ファイバは、その先端部分と前記集束出射端部との間に、光のフィールドを拡大するフィールド拡大部を有することを特徴とする光ピンセット。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光ピンセットに関し、特に微粒子や細胞などの微小な観察対象物に対して光を照射することにより、観察対象物を非接触で操作する光ピンセットに関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】従来、微粒子や細胞などの微小な観察対象物を操作するためマニピュレータとして、観察対象物に対して光を照射することにより、観察対象物自体に電荷を誘起させ、その電荷に基づくクーロン力によって、観察対象物を移動操作する光ピンセットが知られている（例えば、特開平6-202003号公報など）。

【0003】また、これと同様なマニピュレータとして、レーザ光のビームをレンズで強く集束させて、光の放射圧を利用して観察対象物を捕捉（トラップ）し、ビームの位置を移動させることにより観察対象物を移動操作するものが提案されている（例えば、「応用物理」第63巻、第5号、p.483~486など）。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】したがって、このような従来のマニピュレータでは、前者のクーロン力を利用

2

した方法によれば、観察対象物と電荷を誘起させるための固定部とが接触せざるを得ず、また観察対象物を3次元的に任意な位置へ移動させることは困難であった。一方、後者のレーザビームの放射圧を利用した方法によれば、レンズにより集束させたレーザビームを観察対象物まで導く必要があるため光学系が複雑となり、また前述と同様に、観察対象物を3次元的に任意な位置へ移動させることは困難であった。本発明はこのような課題を解決するためのものであり、光学系が比較的簡単で、観察対象物を3次元的に任意な位置に非接触で移動操作することができる光ピンセットを提供することを目的としている。

## 【0005】

【課題を解決するための手段】このような目的を達成するために、本発明による光ピンセットは、先端部分に出射光を集束させるための集束出射端部を有する光ファイバと、この光ファイバを支持して先端部分を微動移動させる微動装置と、光ファイバに対して光を供給する光源とを備え、光ファイバの集束出射端部から出射された光を観察対象物に照射することにより観察対象物を捕捉し、微動装置によって光ファイバを微動させることにより観察対象物を移動操作するようにしたものである。また、光ファイバは、集束出射端部として先球テーパー構造、あるいは分布型屈折率構造を有するものである。

【0006】また、光ファイバは、集束出射端部として先球テーパー構造を有し、光源は、YAGレーザからなるものである。したがって、光ファイバの先端部分に設けられた集束出射端部を介して出射されたレーザ光が、ビームウエスト位置で出射時のビームスポットサイズより絞られ、観察対象物に対してビームウエスト位置方向の力が働いて、観察対象物が捕捉され、微動装置により光ファイバを移動させることにより、観察対象物が操作される。

【0007】また、光ファイバは、その先端部分と集束出射端部との間に、光のフィールドを拡大するフィールド拡大部を有するものである。したがって、光ファイバの先端部分から出射されたレーザ光のフィールドが、フィールド拡大部により拡大されて集束出射端部に入射し、観察対象物に出射される光のビームウエスト位置における集束角が大きくなる。

## 【0008】

【発明の実施の形態】次に、本発明について図面を参照して説明する。図1は本発明の一実施の形態である光ピンセットおよびこれを用いた実験システムの構成図であり、同図において、1は光ピンセット、2は微粒子や細胞などの微細な観察対象物、3は顕微鏡、4はCCDカメラ、5はCCDカメラ4により撮影した顕微鏡3からの画像を表示するモニタ、6はその画像を録画再生するVTRである。光ピンセット1において、11は光ファイバ、12は光ファイバ11の先端部分15を3次元的

に任意の位置に微動移動させるための微動装置、13は光コネクタ、14はレーザ光源である。

【0009】次に、図1を参照して、本発明の動作を説明する。レーザ光源14から出力された光は、光コネクタ13を介して光ファイバ11に導かれ、その先端部分15から観察対象物2に対して出射される。これにより観察対象物2が捕捉(トラップ)され、微動装置12を制御して光ファイバ11の先端部分15を3次元的に移動させることにより、観察対象物2を移動操作する。先端部分15および観察対象物2の動きは、顕微鏡3により観察され、特に顕微鏡3に設けられた落射照明装置により照明され、その映像がCCDカメラ4により撮影されてモニター5に表示されるとともに、必要に応じてVT R6で録画される。

【0010】レーザ光源14としては、例えば波長が $1.06\mu\text{m}$ のYAGレーザの連続発振光や、波長が $1.55\mu\text{m}$ の半導体レーザなどを用いる。光ファイバ11は、シングルモードファイバからなり、図2に示すように、クラッド16とコア17とから構成されている。特に、その先端部分15は、出射光を集束させるための集束出射端部21として、テーパ22を有しているとともに、コア17の先端23が半径 $R_f$ (例えば、 $5\mu\text{m}$ 程度)の球状に加工(例えば、研磨)された先球テーパ構造となっている。

【0011】この場合、観察対象物2として、直径 $5\mu\text{m}$ 程度のガラスの微小球を用い、エチルアルコール中に分散させた。観察対象物2は、光ファイバ11のコア17から出射されたレーザ光のビームウエスト位置 $z_f$ に向かって引きつけられる。これは、先球テーパ構造の光ファイバ11から出射されたレーザ光が、出射端で $w_o$ のビームスポットサイズを有していたものが、ビームウエスト位置 $z_f$ で $w_f$ ( $w_o > w_f$ )のビームスポットサイズに絞られるために、観察対象物2に対してビームウエスト位置 $z_f$ 方向の力 $F$ が働くからである。

【0012】実験では、レーザ光源14として前述のYAGレーザおよび半導体レーザのいずれを用いた場合でも、光ファイバ11の先端から、ほぼ $30\mu\text{m}$ の位置に観察対象物2が捕捉されることが確認された。特に、実験では、ビームスポットサイズ $w_o$ が $5\mu\text{m}$ 、先球の半径 $R_f$ が $5\mu\text{m}$ のシングルモードの光ファイバ11を用いた。

【0013】これらの値からビームウエスト位置 $z_f$ およびビームウエスト位置 $z_f$ でのビームスポットサイズ $w_o$ を計算すれば、それぞれ $36\mu\text{m}$ および $3\mu\text{m}$ となり、ほぼ前述の実験結果と一致する。また、観察対象物2を1つ捕捉するのに必要な最少光パワーは、約 $1\text{mW}$ であり、レーザ光源14として前述のYAGレーザおよび半導体レーザのいずれを用いた場合でも、最少光パワーについての差異はほとんど認められなかった。

【0014】このように、比較的簡単かつ柔軟に扱う

ことができる光ファイバ11により、レーザ光を観察対象物2まで導くようにしたので、光学系を複雑化させることなく、観察対象物2を非接触にて3次元的に任意な位置へ移動操作することができる。また、光ファイバ11とレーザ光源14とを光コネクタ13で接続するようにしたので、波長などの異なる複数の光源を容易に選択接続できる。

【0015】また、光ファイバ11の集束出射端部21を先球テーパ構造としたので、比較的簡単かつ微細な構成により、出射する光を集束させることが可能となる。さらに、光ファイバ11自体が非常に細いため、複数の光ピンセットを接近させ配置することができるとともに、観察対象物2を捕捉する位置が確認しやすく、光ファイバ11の先端で捕捉する位置を指し示すことができる。

【0016】次に、図3を参照して、本発明の第2の実施の形態を説明する。図3は、光ファイバ11の先端部分15を示す構成図であり、特に、先端部分15に分布型屈折率構造を有する場合を示している。同図において、31は光ファイバ11の先端部分15に集束出射端部21として設けられた集束性ロッドレンズ(分布型屈折率構造)である。

【0017】この場合も、前述(図2参照)と同様に、集束性ロッドレンズ31を介して出射されたレーザ光が、集束性ロッドレンズ31から所定の位置、すなわちビームウエスト位置 $z_f$ で、出射時のビームスポットサイズより絞られる。これにより、観察対象物2に対してビームウエスト位置 $z_f$ 方向の力 $F$ が働いて、観察対象物2が捕捉されるものとなる。このように、光ファイバ11の集束出射端部21を分布型屈折率構造としたので、比較的簡単かつ微細な構成により、出射する光を集束させることが可能となる。

【0018】次に、図4を参照して、本発明の第3の実施の形態を説明する。図4は、光ファイバ11の先端部分15を示す構成図であり、特に、先端部分15と集束出射端部21との間に光のフィールドを拡大するフィールド拡大部41を有する場合を示している。

【0019】観察対象物2を引きつける力 $F$ は、光ファイバ11から出射されるビームの焦点すなわちビームウエスト位置 $z_f$ における集束角(絞り込み角) $\theta$ に比例することが知られている。ここでは、光ファイバ11の先端部分15に設けられた集束出射端部21へ入射する光のフィールドをフィールド拡大部41にて拡大することにより、出射されるビームの焦点における集束角 $\theta$ を大きくするようにしたものである。

【0020】図4において、(a)はフィールド拡大部41によって拡大されたレーザ光のフィールド、(b)はフィールドを拡大しない場合の通常のフィールドを示している。集束出射端部21へ入射する光レーザのフィールドを拡大することにより、ビームウエスト位置 $z_f$

5

での集束角 $\theta_0$ が通常時の集束角 $\theta_0$ より大きくなり、観察対象物2を引きつける力Fも大きくなる。

【0021】実験では、フィールド拡大部41として、放電による熱拡散の方法をとった光ファイバを用いた。実際には、集束出射端部21への入射ビームスポットサイズを $5\mu\text{m}$ から約 $9\mu\text{m}$ まで拡大することができ、これにより、観察対象物2を引きつける力Fが強くなり、観察対象物2を捕捉するのに要するレーザ光の最少光パワーを、前述の1mWから0.6mWまで低減できることが確認された。

【0022】このように、光ファイバ11の集束出射端部21と先端部分15との間に、フィールド拡大部41を設けて、集束出射端部21に入射する光のフィールドを拡大するようにしたので、観察対象物2に出射される光のビームウエスト位置における集束角を大きくすることができ、より大きな力で観察対象物2を捕捉することが可能となる。

【0023】なお、以上の説明において、観察対象物2を液体（エチルアルコール）中に分散させた場合、すなわち液体系を例に説明したが、これに限られるものではなく、光ファイバを用いてレーザ光を導くことから完全密封系とすることができ、例えば真空系にも利用することが可能となる。

【0024】

【発明の効果】以上説明したように、本発明は、先端部分に出射光を集束させるための集束出射端部を有する光ファイバと、この光ファイバを支持して先端部分を微動移動させる微動装置と、光ファイバに対して光を供給する光源とを設けて、光ファイバの集束出射端部から出射された光を観察対象物に照射することにより観察対象物を捕捉し、微動装置によって光ファイバを微動させることにより観察対象物を移動操作するようにしたので、従来と比べて、光学系を複雑化させることなく、観察対象物を非接触にて3次元的に任意な位置へ移動操作することが可能となる。

【0025】また、光ファイバの集束出射端部を先球テ

6

ーバ構造、または分布型屈折率構造から構成するようにしたので、比較的簡単かつ微細な構成により、出射する光を集束させることが可能となる。また、光ファイバの集束出射端部を先球テーパ構造から構成し、光源としてYAGレーザを用いたので、半導体レーザを光源として用いた場合と比較して、簡単な構成により格段に大きな光パワーを集束させることができ、より重さがある観察対象物や、より大きなサイズの観察対象物を捕捉することが可能となる。

10 【0026】また、光ファイバの先端部分と集束出射端部との間にフィールド拡大部を設けて、集束出射端部に入射する光のフィールドを拡大するようにしたので、観察対象物に出射される光のビームウエスト位置における集束角を大きくすることができ、より大きな力で観察対象物を捕捉することが可能となるとともに、比較的小さい光パワーで観察対象物を捕捉することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の一実施の形態による光ピンセットを用いた実験システムを示す構成図である。

20 【図2】 光ピンセットの先端部分（先球テーパ構造）を示す説明図である。

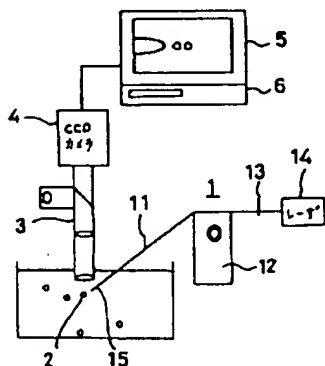
【図3】 本発明の第2の実施の形態による光ピンセットの先端部分（分布型屈折率構造）を示す説明図である。

【図4】 本発明の第3の実施の形態による光ピンセットの先端部分（フィールド拡大部）を示す説明図である。

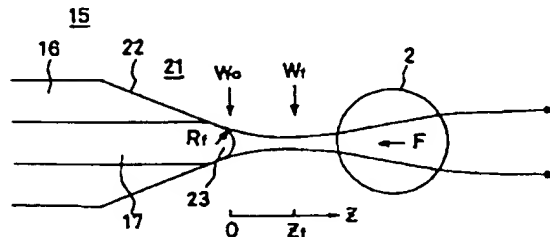
【符号の説明】

1…光ピンセット、2…観察対象物、3…顕微鏡、4…CCDカメラ、5…モニタ、6…VTR、11…光ファイバ、12…微動装置、13…光コネクタ、14…レーザ光源、15…先端部分、16…クラッド、17…コア、21…集束出射端部、22…テーパ、23…コア先端、31…分布型屈折率構造、41…フィールド拡大部。

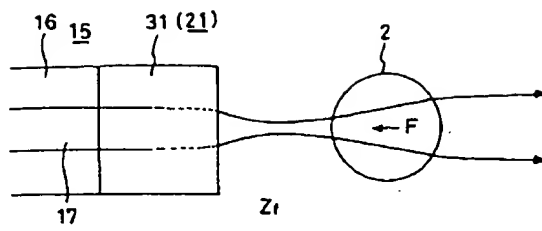
【図1】



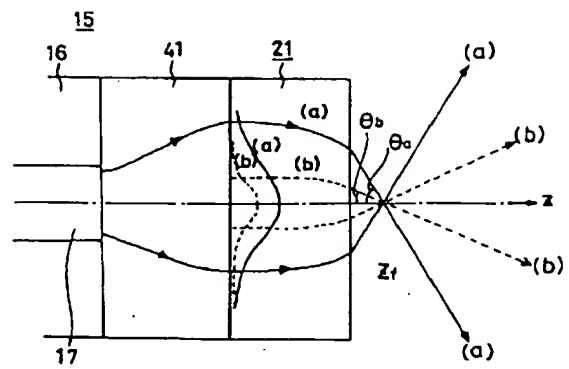
【図2】



【図3】



【図4】



JPAB

CLIPPEDIMAGE= JP410048102A

PAT-NO: JP410048102A

DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 10048102 A

TITLE: OPTICAL TWEEZERS

PUBN-DATE: February 20, 1998

INVENTOR-INFORMATION:

NAME

YASUDA, KENJI

TAKEI, HIROYUKI

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME

COUNTRY

HITACHI LTD

N/A

APPL-NO: JP08201534

APPL-DATE: July 31, 1996

INT-CL\_(IPC): G01N001/02; G02B021/32

ABSTRACT:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an optical tweezers having an optical trap means trapping fine particles different in optical characteristics to independently operate them.

SOLUTION: Monochromatic laser beams having different wavelengths generated by laser beam sources 11, 12 pass through optical lenses 31, 32 to be converged by a lens 34 to be focused within the container 9 fixed on a sample stage 8. The converged beam introduced into the soln. containing a sample in the container 9 is incident on the sample to be scattered in the direction different from the incident direction on the basis of the difference between the refractive indexes of the soln. and the sample and the difference between the directions of the boundary surfaces of them. The change of the advance direction with respect to the direction at the time of the incidence of beam at this time applies momentum to fine particles to generate trapping force of fine particles but fine particles having large absorption of incident beam and no emitting scattered beams do not receive the trapping force due to converged beam. For example, fine particles 101 are exclusively trapped by the beam supplied from the laser beam source 11 and fine particles 102 are exclusively trapped by the beam supplied from the laser beam source 12.

COPYRIGHT: (C)1998,JPO